

都市中小河川流域規模を対象とした 短時間雨量の変動特性と短時間降雨予測の試み

Variation and Forecasting of Short-term Rainfall in Urban Small Basins

谷岡 康*¹, 福岡捷二*², 岩永 勉*³, 傅 雲飛*⁴

By Yasushi TANIOKA, Shoji FUKUOKA, Tutomu IWANAGA, and Yunfei FU

For analyzing and forecasting floods in urban small rivers, it is important to get precipitation in short interval and small area because of the characteristics of rapid runoff of floods.

In this paper, we study spatial and temporal characteristics of short-term precipitation based on the data from the rain gauges distributed densely on the urban small basins in Tokyo.

We attempt to forecast the short-term rainfall by using spatial and temporal characteristics and showed the applicability of the forecasting method proposed herein.

Keywords: Short-term Urban-scale Rainfall,

Spatial and Temporal Characteristics of Precipitation

1. はじめに

都市域の中小河川では、その沿川土地利用の高度化等により、河道拡幅による改修が困難な状況となっており、近年では調節池や地下放水路等の治水対策施設が多く計画されている。これらの治水施設をより効率的に活用するためには、その河川の流出特性の把握はもとより、流出解析や洪水予測を精度良く行うことが重要な課題となっている。都市域中小河川における流出計算、流出予測を行うためには、その流出の速さ、流域や河道の規模が小さいこと等から、狭小域の降雨量を短い時間間隔で正確に把握する必要がある。また、ランダムな配置の降雨観測所のデータから空間的な雨量分布を内挿し、面積雨量を算定する場合や、時間的な外挿を行い降雨量の予測を行う場合には、短時間雨量の時空間的な変動の特性を明らかにし、その特性に応じた内挿方法や予測方法を考慮する必要がある。その上で面積雨量の精度、予測精度の限界、降雨の状況による精度の差異等を明らかにしていく必要がある。短時間降雨の変動特性については、レーダ雨量データを用いた多くの研究がなされているが、地上雨量計とのキャリブレーションの方法やレーダエコーを雨量に換算する方法の研究が進められている段階である。これらは広域的な雨域、つま

* 1 正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 水工部 (〒136 東京都江東区亀戸 2-4-0-1)

* 2 正会員 工博、Ph. D. 広島大学教授 工学部 (〒724 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

* 3 正会員 東京都 建設局 河川部 計画課長

* 4 正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 水工部

り気象擾乱のスケールでいえば、中規模擾乱（約100km、約数時間スケール）¹⁾を対象とした研究であり、都市域中小河川流域規模（約10km、約1時間スケール）における短時間降雨の時空間的な変動特性や面積雨量の誤差、精度については明らかにされていない。

降雨の短時間予測の方法に関しては、雨域追跡法、移流モデル、相互相関法等の適用が試みられており、1～3時間程度の予測には成果が上まっているものの、レーダ雨量計を用いた広域的な予測方法であり、中小河川の狭域の降雨量の予測及び地上雨量計との誤差等については明らかにされていない。

本研究では、まず、東京都に配置されている密な地上雨量計データをもとに都市域中小河川流域規模の短時間雨量の時空間的な変動特性、雨域の移動や消長の特性を調べる。また、その特性を生かして、地上雨量計データを用いた短時間雨量の降雨予測方法を提案し、実績降雨により試みた。

2. 短時間雨量の時空間変動

2.1 検討対象

近年の降雨で10分間雨量のデータが密に存在し、規模の大きかった平成5年8月27日台風11号を対象とする。台風の中心は本州東沖を北方向へ移動し、東京に時間50mm程度の強雨をもたらした。東京都東部では、8月27日11時～15時にわり大きな雨量を観測している。本検討で対象としたのは、東京都内のうち、地形変化がゆるやかな東部とした。この範囲で雨量観測所は、平均的にほぼ3～5km毎に配置されている。短時間降雨の変動特性を検討する対象範囲を、東京都域南北方向の距離と雨量計の配置を考慮（領域内で出来る限りまんべん無く）し、図-1に示す23km四方とした。

この範囲の60分最大雨量分布を図-2に示す。23km四方のほぼ全域にわり、30mm～60mmの雨量を記録し、内でも南東部に偏って大きな雨量が分布している。対象範囲のほぼ中央に位置するNo.1観測所の雨量波形を図-3に示す。降雨は27日4時から徐々に強くなり、時間15mm程が12時まで続く。その後、約3時間にわり35～40mm程度の強雨が続けている。

2.2 雨域の消長・移動の傾向

短時間雨量変動の、距離的な関連性を調べるために、南北方向と東西方向に直線的に配置する観測所を抽出し、東西方向（X方向）にAsection、南北方向（Y方向）にBsectionを設定した。（図-1）時間的な雨量分布と、観測所の位置の関係を調べ、横軸に時間、縦軸に雨量、斜軸に距離として図化した（図-4）。ここで降雨量は10分雨量記録をもとに30分移動平均した量を10分毎に扱っている。30分平均雨量を用いたのは、谷間、

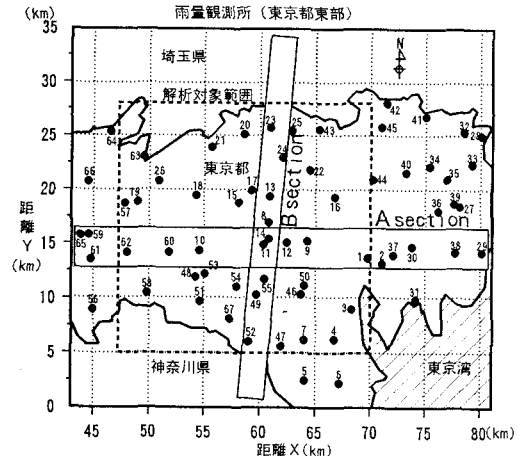


図-1 降雨観測所位置図

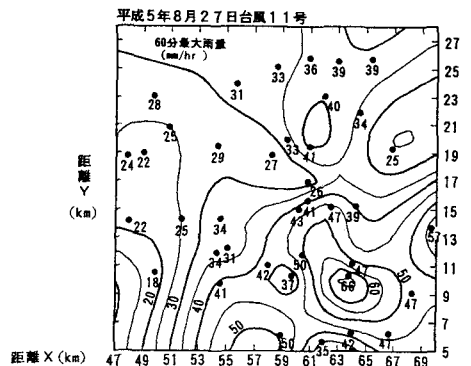


図-2 雨量分布

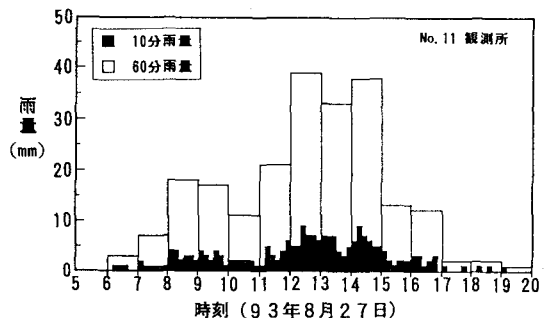


図-3 観測所雨量

福岡ら²⁾の報告より、対象とした都市域中小河川への水位の応答性が良好であったことによる。各観測所の雨量は、雲ひとつひとつの発生減衰サイクルに対応しているものと考えられる⁴⁾ 40~60分程度の振動がみられる。

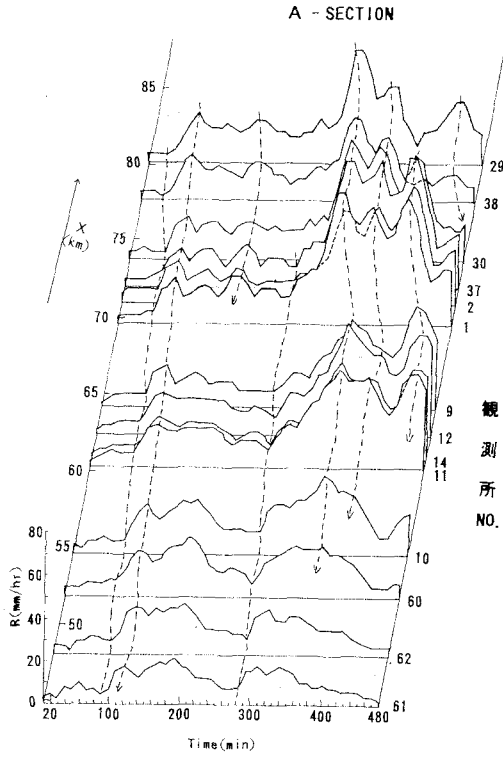


図-4(a) 雨量波形の変動

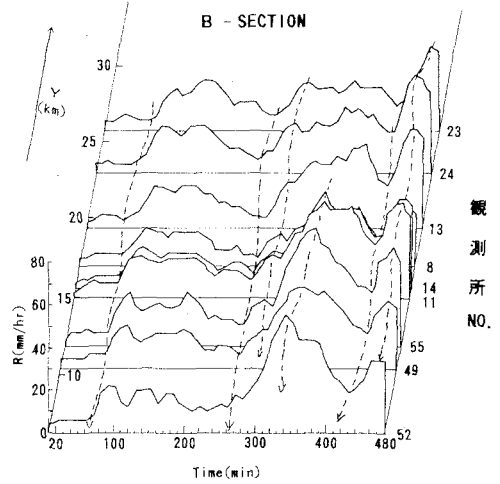


図-4(b) 雨量波形の変動

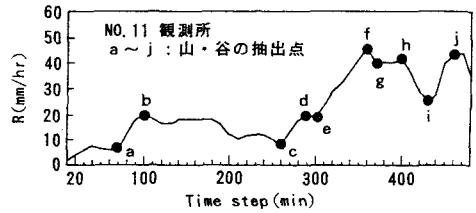


図-5 雨量の山・谷の抽出

図より明らかなように、近傍の観測所(5 km程度の範囲)では時差はあるものの極めて類似した降雨波形を示し、強い関連性がみられる。又、20km程度の範囲では降雨の山・谷の位置的な変動や時間的な移相を連続的に読みとることが可能である。ここで雨量の時間的な山や谷の、各地点での発生時刻と雨量を抽出し、位置的・時間的な変動を調べた。領域のほぼ中心に位置するNo.11観測所の雨量波形(図-5)から、近傍観測所と関連が見られる山や谷の変曲点a~jを設定し、Asection内の各観測所でそれに相当する山・谷の発生時刻とそのときの雨量を抽出し図-6、図-7に図化した。

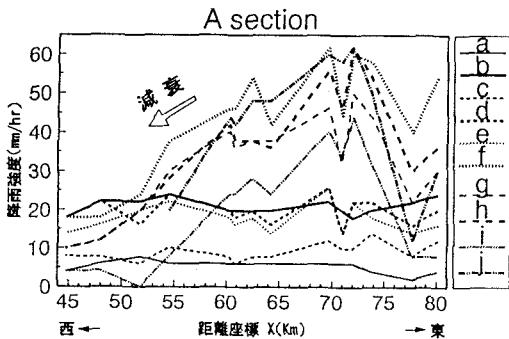


図-6 降雨波形の山・谷の位置と大きさ

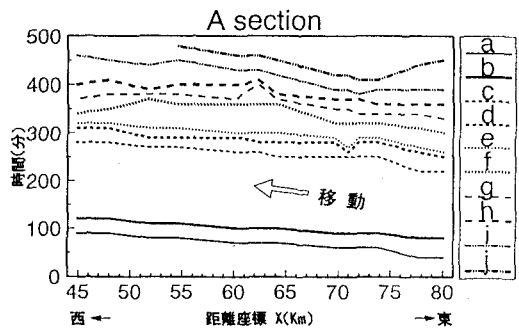


図-7 降雨波形の山・谷の位置と発生時刻

図-6では、横軸に観測所の位置による距離、縦軸に雨量を示す。バラツキがあるものの、発生時刻の異なる山々が70km(東)付近で最大となり45km(西)に向かってゆるやかに減衰していく傾向がある。20mm/hr程度の場合は、位置的に変動が小さい。これは降雨場の階層構造⁵⁾によるものと考えられる。対象とした台風では、Asection方向と雨域の実際の移動方向とは、必ずしも一致はしないが、降雨の山の消長は位置的にゆるやかであると考えられる。地点によって(72km, 78km)で小さい値を示す傾向が見られるのは、近傍のビル等障害物の影響や局所的な風による地上雨量計の捕捉量の傾向、地形的な影響、観測機器の性能及び故障等が考えられる。一方、図-7に示す降雨分布の山と谷の距離的な発生時刻をみると、西へいく程遅い傾向にありゆるやかに変動している。この方向の山や谷の発生時刻と距離から算定した移動速度はおよそ15~20km/hr程度である。

2.3 空間的な雨域の移動の分布

(a) 雨域の移動の方向

降雨波形が近隣観測所同士では類似している(相関関係にある)こと、又、位置的にも連続的に変形していることから各観測所間の降雨波形の時間的なずれが雨域の移動によるものと仮定した。雨域の移動特性を調べるために、解析対象範囲のほぼ中央に位置する、No11の観測所を中心として、周辺観測所との間で10分単位(観測値が10分単位で得られているため)で波形をずらしたときの雨量の相関をとり、最も相関係数の高い移相時間を調べその面的な分布と、そのときの相関係数を図-8に示す。対象領域内では、移相時間の分布はほぼ南東方向へ平面的に傾いていることがわかる。このことより、対象範囲内では、比較的一様な移動をしていると考えられる。さらに相関係数の分布から、0分~+40分までの相関係数が高く、雨域が中心へ向かって北西方向へ移動しており、中心付近を過ぎると、減衰していくために波形が小さくなり、明確な相関関係が薄れていくと推定出来る。中心点より10km程度離れた南東部の観測点でも20~40分の移相時間で相関が高く、降雨波形の強い関連性とその移動による時間のずれが空間的に一様に傾斜している様子がわかる。

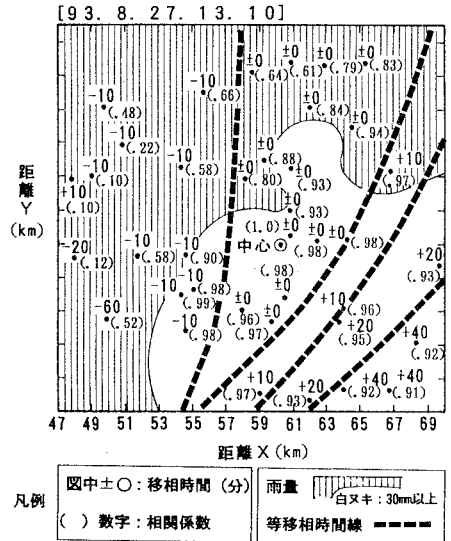


図-8 降雨波形の移相時間

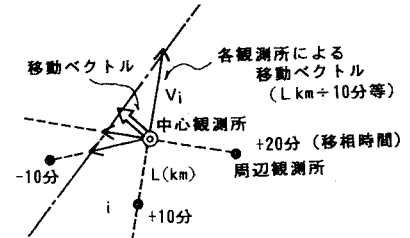


図-9 雨域移動ベクトル推定方法

(b) 空間的な雨域の移動の推定

観測点毎の降雨波形の相関により、最も相関係数の高い移相時間を用いて、雨域の移動方向を推定することとした。雨域追跡法や相互相関法の様に時差のある2空間の分布による空間的な相関をとる方法に代えて、単点毎の時間的な降雨波形による相関をとることで雨域の移動の方向を推定する方法である。ここでは図-9に示すように、まず、中心とする観測所から周辺の観測所、例えば*i*観測所との距離*L* kmと移相時間(例えば+10分等)から、この2点間方向の移動ベクトル(V_i)を求め、同様に全ての周辺観測所から各観測所方向の移動ベクトル群を求める。つぎにこのベクトル群の矢先を結ぶ直線を引き、この直線に直交、かつ矢先が直線上にある中心観測所からの移動ベクトルを求め、これを中心観測所周辺の雨域の場の移動であるとした。各観測所のベクトル群の平均は、相関係数の重みつき平均により求めた。以上の方法により空間的な雨域の移動ベクトルを算定した結果を図-10に示す。ベクトルは雨量の大きい範囲ではほぼ一定しており、時刻によっては2方向の領域に分かれる場合もある。この移動の方向は、地上風の分布(図-11)とは必ずしも一致しない。

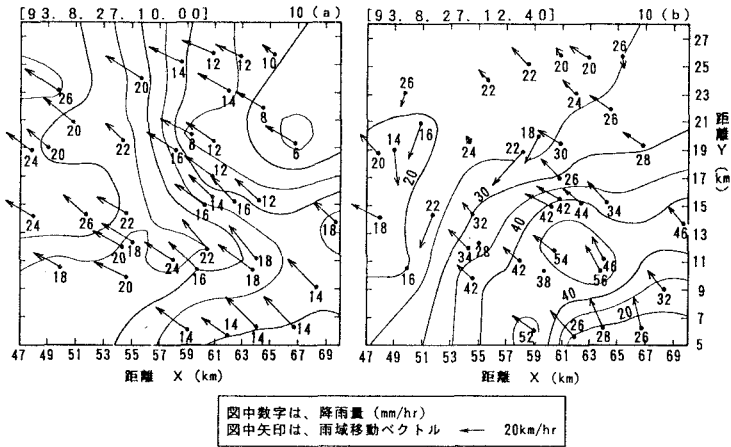


図-10 雨域移動ベクトルの分布

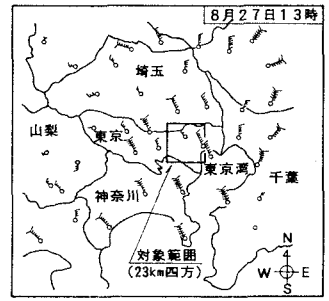


図-11 地上風の分布

2.4 短時間雨量の変動特性

対象とした降雨（台風）においては、短時間雨量の時空間変動特性として次が挙げられる。

- (a) 短時間雨量（30分平均雨量）は、10km～20kmの範囲では空間的に関連をもって変動している。又、20km四方の内では雨域はゆるやかに移動・消長している。特に5 km程度の範囲の観測所では極めて類似した降雨変動を呈している。
- (b) 単点の雨量変動は、雨域個々の発達・減衰及び移動の影響と考えられる40分～60分程度の振動を呈している。
- (c) 降雨波形の相関から求めた移相時間分布による雨域の移動方向は、雨量の大きい範囲では、ほぼ一定であり、同一雨域内での移動方向は均一性が高い。
- (d) 対象とした台風においては、雨域の移動方向は20km四方の範囲内でも様でない時刻もあり、台風の移動方向や地上風の方向と必ずしも一致していない。
- (e) 対象とした台風においては雨域は20km/hr程度の移動速度を持ち、例えば領域中心付近の30分降雨予測を行うには、20km四方程度の領域の地上雨量計のネットワークが必要となる。

3. 短時間雨量予測の試み

3.1 短時間雨量予測の方法

2.3で示した方法で、時々刻々に現時刻以前の降雨波形により相関をとり、観測所毎に雨域の移動ベクトルを算定し、移動の空間分布を作成した。現時刻雨量分布をこの移動ベクトルにより20分、30分移動させ、対象域の中心付近に位置するNo. 11観測所の30分平均雨量を予測した。

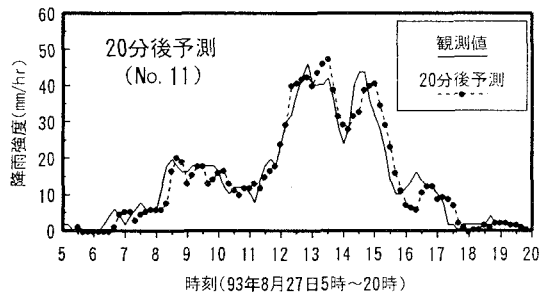
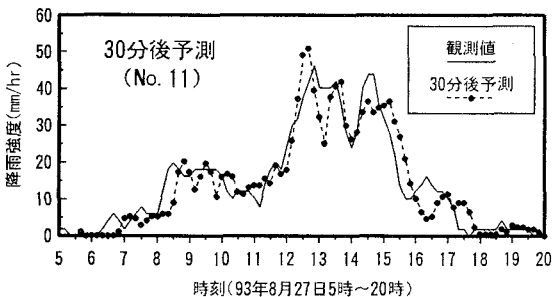


図-12 降雨予測結果

3.2 予測結果

対象領域内の中央に位置するNo.11の観測所雨量と、最も近傍の格子点（300m離れ）の予測値を比較する（図-12）。観測値の波形、規模を良好に予測出来ており、特に、12時付近の雨量の立ち上がりを適切に予測出来ている。8時付近の雨量の小さい範囲や、15時頃の降雨の山は、移動ベクトルが小さく見積もられており、若干遅れる傾向にある。各時刻の観測雨量と予測雨量の関係を図-13（a）に示す。1地点のみの雨量により、その現時刻雨量が30分継続すると予測した場合13（b）や、前時刻からの変化傾向が持続するとした傾向予測13（c）に比べ、空間的な移動を考慮した本報告の移動予測13（a）の方が、良好に予測出来ることがわかる。この結果は、雨域の移動のみを考慮して得られたものである。このことから、対象とした台風の消長は小さく、地点雨量の変動は殆どが雨域の移動に依存していたと考えられる。移動した雨量分布と観測値の差を雨域の消長として導入する方法を考えているが、これは、今後の検討課題として残される。

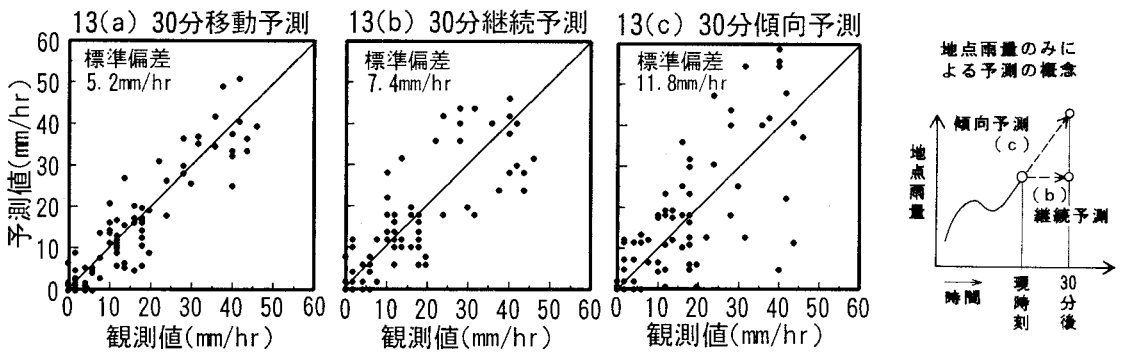


図-13 予測雨量の比較

4. おわりに

4.1 本研究の成果

- (a) 都市中小河川流域規模（23km四方）の領域で、1つの台風をとり挙げ短時間雨量の時空間特性を示した。
- (b) ランダムな配置の地上雨量計データから雨域の移動方向を推定する方法を提案し、その方法を用いた短時間雨量の30分予測を行い、予測値が観測値によく適合することを示した。

4.2 今後の課題

- (a) 本報では10分単位に得られた雨量データにより解析したが、さらに短時間の雨量についても検討する。又、本報では30分平均雨量を対象としたが10分雨量、5分雨量についても解析をすすめる。
- (b) 解析事例を増やし、雨域の移動や消長の特性の範囲、提案した移動の扱え方とその適合性、予測のリードタイムと誤差の関係、面積雨量としたときの精度の評価等整理していく。

参考文献

- 1) 二宮洸三：雨とメソ・システム — 集中豪雨のメカニズムを探る — 気象学のプロムナード, No. 2. 東京堂出版, 1981.
- 2) 谷岡康・福岡捷二・岩永勉・北川明：都市域中小河川における洪水位と雨量の直接的関係を用いた洪水解析 — 東京都神田川の事例 —, 水工学論文集第38巻, 1994年2月
- 3) 河村ら：短時間都市規模地上降雨の時空間特性と実時間予測について, 水工学論文集第35巻, 1991. 2.
- 4) 沖大幹・虫明功臣：雨滴粒径分布観測による短時間降雨強度の変動特性, 水工学論文集第38巻, 1994. 2.
- 5) 渡邊、高棹、椎葉ら：レーダー雨量計データを用いた降雨場の時間的・空間的特性の解析, 土木学会第46回年次学術講演会概要集（Ⅱ）, 平成3年9月